

特開平11-37937

(43)公開日 平成11年(1999)2月12日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

G 0 1 N 21/41

// G 0 1 B 9/02

識別記号

F I

G 0 1 N 21/41

G 0 1 B 9/02

Z

審査請求 未請求 請求項の数7 F D (全 7 頁)

(21)出願番号

特願平9-207389

(22)出願日

平成9年(1997)7月17日

(71)出願人 000006747

株式会社リコー

東京都大田区中馬込1丁目3番6号

(72)発明者 仲瀬 知子

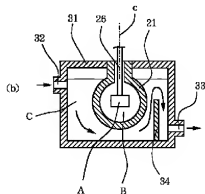
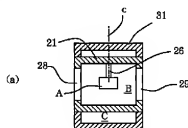
東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内

(54)【発明の名称】 屈折率分布の測定装置及び該装置を用いた屈折率分布の測定方法

(57)【要約】

【課題】 屈折率がほぼ同一の試液B内にセットされた被検物Aについて、干渉縞像を形成し、形成された干渉縞像の透過波面を測定して被検物の屈折率分布を測定する装置において、試液Bの温度ムラが少なくなり、精度のよい測定ができる装置を提供する。

【解決手段】 試液Bを入れたセル21の外側を容器31で覆い、容器31に液体Cを入れ、該液体Cにより上記試液Bの温度を制御する。液体Cは入口32から入り出口33から出て循環するが、容器31の出口側にガイド板34を設け、液体Cがセル21の周辺を大きく回るようにして広範囲で熱交換させる。



#### 【特許請求の範囲】

【請求項１】 同一光源からの可干渉光を参照波と被検波とに分割し、これらを重畳して干渉縞を形成する干渉計と、上記被検物を屈折率が被検物とほぼ等しい試液内に保持するとともに相互に平行な入射窓と射出窓とを有するセルと、該セルの外側に設けられセルのほぼ全体を浸す液体を収容する容器と、該容器の一方側の上方に形成された液体の入口と、該容器の他方側下方に形成された出口と、該容器内の出口と対向する位置に配置されたガイド板とを有し、該ガイド板によって容器内の液体が上記セルの表面を広範囲に渡って流れるようにしたことを特徴とする屈折率分布の測定装置。

【請求項２】 上記ガイド板から上記セルまでの距離と、ガイド板から出口側の容器内壁までの距離と、ガイド板上端から液体水面までの距離との３つの距離をほぼ等しくしたことを特徴とする請求項１記載の屈折率分布の測定装置。

【請求項３】 上記入口と対向する位置に邪魔板を設け、入口から入ってきた液体が、上記セルに直接当たらないようにしたことを特徴とする請求項１又は２記載の屈折率分布の測定装置。

【請求項４】 上記容器に開閉可能な監視窓を設けたことを特徴とする請求項１から３のいずれかに記載の屈折率分布の測定装置。

【請求項５】 上記セルに、セルの内外を連通する筒体を設け、該筒体が容器の外部に開口するようにしたことを特徴とする請求項１から４のいずれかに記載の屈折率分布の測定装置。

【請求項６】 上記セルに、上記試液を注入する開閉可能な蓋を設けたことを特徴とする請求項１から５のいずれかに記載の屈折率分布の測定装置。

【請求項７】 上記被検物を回転させながら徐々に透過波面を測定し、ＣＴ解析を用いて被検物の屈折率分布を測定する請求項１から６のいずれかに記載の屈折率分布の測定装置を用いた屈折率分布の測定方法。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【０００１】

【発明の属する技術分野】 本発明は、干渉縞の解析により被検物の屈折率分布を３次元的に測定する技術に関し、特に、被検物を屈折率がほぼ等しい試液内に浸して測定する測定方法及び装置に関する。

##### 【０００２】

【従来の技術】 近年、レーザプリンタやカメラなどの光学機器に使用される光学レンズの材料としてプラスチックを用いることが多くなっている。プラスチック成形レンズはガラス研磨レンズに比較して、コスト低減や非球面レンズの製作性に優れ、安価であるというメリットがある。

【０００３】 しかし、その反面、ガラスレンズに比べ製造上、屈折率分布が不安定でレンズの内部に不均一性を

生じることがある。レンズ内部に不均一性があると、光学特性に大きな影響を及ぼし、画質の劣化やボケといった原因につながる。従って、レンズ内部の屈折率分布を高精度に測定し、光学レンズの均質性を評価する必要がある。

【０００４】 そこで、本発明の出願人は、被検物を試液中に浸した状態で光軸と直交する軸を中心に回転させ、複数の回転角位置の各々で干渉縞の解析を行い、これらの干渉縞から透過波面量を算出し、これを一次フーリエ変換し、さらに、二次元逆フーリエ変換を行って屈折率の分布を求める方法を開発した。

【０００５】 図９を用いて具体的に説明する。同図の装置は、マハツェンダ型干渉計を基本構成としており、可干渉光としてのレーザ光を射出する光源１と、ビームエキスパンダ３と、光束分割用のビームスプリッタ５と、２つの反射ミラー７、９と、光束重畳用のビームスプリッタ１１と、結像レンズ１３と、ＣＣＤなどからなる干渉縞検出器１５と、高速度画像処理装置、マイクロコンピュータなどからなる演算処理装置１７とを備えている。以上の構成のうち、光源１から結像レンズ１３までで、干渉計を構成している。

【０００６】 光源１より射出するレーザ光は、ビームエキスパンダ３によって光束径を拡大され、ビームスプリッタ５によってこれを直進して参照波ａとなるレーザ光束と、直角に屈折して被検物Ａとしての位相物体を透過する被検波ｂとなるもう一つのレーザ光束とに分割される。参照波ａと被検波ｂとは、ほぼ１：１となるようになっている。

【０００７】 反射ミラー７は、ビエゾ素子などによる電気－変位変換素子１９により支持され、位相シフト法による干渉縞解析を行うために、参照波ａの光路長を波長のオーダーで変更できるように配置されている。

【０００８】 参照波ａは反射ミラー９で反射されてビームスプリッタ１１に達し、他方の被検波ｂは、被検物Ａを透過してビームスプリッタ１１に達して参照波ａと重なり合うが、電気－変位変換素子１９により参照波ａと被検波ｂとの光路長には、 $n\pi/2$ の位相の差ができるように調整される。

【０００９】 参照波ａと被検波ｂは重畳され、ビームスプリッタ１１から射出されて結像レンズ１３に入射し、干渉縞検出器１５の撮像面に干渉縞を結像する。干渉縞検出器１５にはリアＣＣＤやアレイ状のセンサを用いる。

【００１０】 被検物Ａの屈折率は空気屈折率とはかなり相違しており、被検物の入射面と射出面とが平行でない限り、被検物Ａを透過した被検波ｂは、不規則に収束・発散する。一方、干渉計で干渉縞を結像させるには、被検波ｂは、ほぼ平行な光束となっていなければならない。そこで、被検物Ａがどのような形状であっても、被検物Ａを透過した被検波ｂがほぼ平行光束になるため

に、次のような構成としている。

【0011】すなわち、被検物Aは、被検波bの光路の途中に設けられた容器状のセル21内に設置する。セル21内には、その屈折率が被検物Aの屈折率とほぼ同一に調合された試液Bを満たしてある。なお、被検物Aは、回転台23上に載置され、回転台23は、図示しないサーボモータなどにより、被検波bに対して直交する軸を中心に任意の角度だけ回転自在である。セル21の両端、すなわち、被検波bの入射窓25と射出窓27は互いに平行で、かつ、それぞれに面精度が高いオプティカルフラット28、29を取り付けて液密にシールドしている。したがって、被検物Aと試液Bで充填されたセル21は、全体として均一な屈折率の物体となり、かつ、入射面と射出面とが平行なので、セル21内を透過した被検波bは、ほぼ平行な光束となって射出されるようになる。

【0012】干渉縞像は、干渉縞検出器15で検出され、光電変換されて電気的な画像信号となり、A/D変換器2によってA/D変換された後、演算装置17に入力される。なお、演算装置17は、位相シフト法などによる干渉縞像の解析によって透過波面の計測演算を行う透過波面計測部18を含んでいる。

【0013】次に上述の構成よりなる測定装置を利用して被検物Aの屈折率を計測する方法を説明する。まず、被検物Aを回転台23にセットしない状態で、干渉縞検出器15が出力する干渉縞像の画像信号を演算処理装置17に取り込んで演算処理装置内部の透過波面計測部18により干渉縞像の解析を行い、初期状態の透過波面の計測をする。この計測結果に基づいて測定装置自身の定常的な誤差成分を排除する初期処理を行う。

【0014】次に、回転台23に被検物Aをセットし、回転台23が $\theta=0$ の位置で干渉縞検出器15の撮像面に干渉縞を結像し、干渉縞検出器15が出力する干渉縞像の画像信号を演算処理装置17に取り込んで干渉縞像の解析を行う。

【0015】回転台23が初期回転位置にある透過波面の計測では、干渉縞像の解析結果は被検物Aの厚み方向(x方向)に積算されており、これだけでは屈折率の不均一部分の空間的な位置を特定することができない。

【0016】そこで、回転台23を初期回転位置より所定角度回転させ、回転台23上の被検物Aを被検波bの光軸に対して変化させる。このように被検物Aが回転変位しても干渉縞像は干渉縞検出器15の撮像面に結像する。この状態下にて干渉縞検出器15が出力する干渉縞像の画像信号を演算処理装置17に取り込んで透過波面の計測をする。こうしてたとえば、 $1^\circ$ 刻みで $180^\circ$ ( $\pi$ )あるいは $360^\circ$ ( $2\pi$ )の方向から複数回に渡って干渉縞を形成し、その透過波面を計測して、コンピュータ、すなわち、演算処理装置17上で再合成する。この画像の再構成は、公知のX線CT(Computed Tomog-

raphy)解析の手法を用いて行うことができる。

【0017】図10はCT法の原理を示すものであり、角度 $\theta$ から入射した被検波による透過波面のデータ $p(x, \theta)$ を変数 $x$ について一次元フーリエ変換すれば、求めるべき屈折率の分布 $\Delta n(x, y)$ の二次元フーリエ変換の極座標表現における $\theta$ 方向成分が得られる。

【0018】すなわち、 $0 \leq \theta \leq 2\pi$ 又は $0 \leq \theta \leq \pi$ の角度範囲にわたって透過波面を計測し、その透過波面データを一次元フーリエ変換し、フーリエ変換された各断面の極座標データ $P(x, \theta)$ を直交座標データに変換し、その後二次元逆フーリエ変換し、さらに屈折率に変換することにより被検物Aの三次元屈折率分布を再構成することができる。

【0019】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上記の屈折率測定方法によれば、被検物Aとしての位相物体を浸す試液Bは、装置のまわりの空気やレーザによる発熱などの影響を受け、その温度が徐々に上昇する。そして、温度が変化すれば試液Bの屈折率も変化する。このとき、温度変化が小さければ屈折率の変化も小さく、引き続いて干渉縞の測定も可能である。しかし、温度変化が大きくなると、屈折率の変化が大きくなり、被検物を透過した被検波bの平行度が乱れ、干渉縞の結像が困難になる。

【0020】したがって、測定中の試液Bの温度変化を一定の範囲内に制御し、試液の屈折率と被検物の屈折率の差を小さく保てるようにすることが重要である。できれば、測定中の試液の温度を一定に保っておきたい。しかし、上記の発熱源は、装置に不可欠のものであり、試液の温度変化を一定の範囲内に保つことは二律背反の関係になる。本発明は、上記の事実から考えられたもので、試液の温度を容易に制御することができる屈折率の測定方法と、測定装置を提供することを目的としたい。

【0021】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために本発明の装置は、同一光源からの可干渉光を参照波と被検波とに分け、これらを重畳して干渉縞を形成する干渉計と、上記被検物を屈折率が被検物とほぼ等しい試液内に保持するとともに相互に平行な入射窓と射出窓とを有するセルと、該セルの外側に設けられセルのほぼ全体を浸す液体を収容する容器と、該容器の一方側の上方に形成された液体の入口と、該容器の他方側下方に形成された出口と、該容器内の出口と対向する位置に配置されたガイド板とを有し、該ガイド板によって容器内の液体が上記セルの表面を広範囲に渡って流れるようにしたことを特徴としている。

【0022】また、上記ガイド板から上記セルまでの距離と、ガイド板から出口側の容器内壁までの距離と、ガ

ド板上端から液体水面までの距離との3つの距離をほぼ等しくした構成とすることが望ましい。

【0023】上記入口2と対向する位置に邪魔板を設け、入口から入ってきた液体が、上記セルに直接当たらないようにしたり、上記容器に開閉可能な監視窓を設けたり、上記セルに、セルの内外を連通する筒体を設置、該筒体が容器の外部に開口するようにしたり、上記セルに、上記試液を注入する開閉可能な蓋を設けたりすることができる。本発明の測定方法は、上記いずれかの測定装置を用い、被検物を回転させながら徐々に透過波面を測定し、CT解析を用いて被検物の屈折率分布を測定することを特徴としている。

【0024】

【発明の実施の形態】以下に、図面を参照して本発明の実施例を詳細に説明する。図1は本発明の第1実施例の要部を示す図である。本発明の屈折率測定装置は、図9で説明した従来の屈折率測定装置における被検物Aの周辺の構成のみが相違するものである。

【0025】本発明の被検物Aは、セル21内で支持部材26の下端に固定され、被検物bと直交する軸cを中心に回転可能に保持されている。支持部材26は、上下に移動可能で、被検物Aの高さを自由に調整できる構造である。セル21内には、屈折率が被検物Aとほぼ同じ試液Bを充填する。そして、本発明では、このセル21を、容器31内に挿入し、セル21の外側の容器31内に液体Cを充填している。液体Cとしては、水を使用している。容器31には、液体の入口32と、出口33とがあり、離れて設けられたポンプなどのサーキュレータにホース類で接続され、液体Cが循環できるようにしている。

【0026】セル21の入射窓と射出窓とは、容器31の入射窓と射出窓とに重ならない構成とし、ここにオプティカルフラット28、29をはめ込んでいる。このような構成とすることによって、被検物bの光路から液体Cがなくなり、液体Cの流動による被検物bへの影響を無くすることができる。

【0027】被検物Aの屈折率の測定が行われている間、液体Cは図示しないサーキュレータ等により循環される。液体Cは空気などの気体にくらべて熱容量が大きく、適当な加熱・冷却手段によって任意の温度に設定することができる。試液Bを短時間で所望の温度範囲内に保つことが可能となる。また、液体Cとして水を使用すれば、安価であり、入手が容易である。

【0028】本発明では、さらに、図1に示すように、容器中の液体Cの出口33（排水口）の手前に、ガイド板34を容器の底部から垂直に取り付ける。ガイド板34は、入射窓側から射出窓側までほぼ容器の長さと同じ長さで、高さは、液面よりかなり低くしている。

【0029】このガイド板34が無い場合は、容器31の左上方の入口32から送り込まれた液体Cは、セル2

1の下側を通して直接右側の出口33から容器31外に出てしまい、セル21の右側上方では十分な熱交換がされなかった。それに対し、このようにガイド板34を設けると、セル21の下側を通過した液体Cは、ガイド板34に当たって垂直に上方に上がり、セルの右側上方でも十分に熱交換してガイド板34を乗り越え、容器の右下の出口33から出ていくようになる。このように、ガイド板34を設けることで、液体Cがセル21の外側と広範囲にわたって接触でき、熱交換の効率が向上する。すなわち、試液Bの温度ムラを少なくすることができる。

【0030】図2は本発明の第2実施例を示す。この図の実施例では、ガイド板34からセル21までの距離と、出口33側の容器31の内壁までの距離と、ガイド板上端から液体Cの水面までの距離との3つの距離をほぼ等しくaとしている。これにより、ガイド板34に当たって上昇し、ガイド板34を乗り越えて出口に向かう液体Cの流路はネックがなくなるので、流体Cが容器内を流れる際の圧力損失を低減することができる。試液Bの温度ムラをさらに減少させることができる。

【0031】図3は本発明の第3実施例を示す。この図の実施例は、容器31の入口32と対向する位置に、邪魔板35を取り付けたものである。入口32から入ってきた液体Cは、その圧力によって、直接セル21にぶつかり、局部的に熱交換が促進されて温度ムラができ易かったが、このように邪魔板35を取り付けることによって、直接セル21にぶつかることがなくなり、局部的に温度ムラができるのを防止することができる。

【0032】また、邪魔板35にぶつかった液体Cは、邪魔板35に沿って容器の下側に向かって循環する。これにより、吸水による振動が、セル21に伝わることも防止できる。したがって、液体Cとの衝突による振動が干渉計の光に悪影響を及ぼすことを軽減することができる。また、水の循環も良くなり、むらなく温度制御を行うことができる。

【0033】図4は本発明の第4実施例を示す。この実施例では、容器31の上面の左右に上蓋36、36を設け、それぞれを繰番37、37で開閉可能としている。また、開閉が容易になるように上蓋には取っ手36aを設けるとよい。上蓋36を開けば容器31の内部を見ることができ、特に、液体Cの循環の状況を目視により確認することができる。また、ごみ等が液体Cに入るのを防止し、室内の温度が液体Cに影響を与えないように、通常は上蓋36は閉じておく。また、容器31の上面のほぼ中央には、被検物Aをセル21内に挿入するための孔38を開けておくことよい。

【0034】図5及び図6は、本発明の第5実施例である。この実施例では、セル21の側面に筒体22を取り付け、筒体22の先端が容器31の上面に開口するようにして、ここから温度計23が差し込めるようにしてい

る。このような構成にすることによって、セル21内の試液Bの温度を随時測定できるようになる。図7は本発明の第6実施例を示す図で、図8はその斜視図である。この実施例では、セル21の上方開口部に蓋24を設けている。測定装置を用いないときは、セル21に栓をすることで、セル内にゴミなどが混入するのを防ぐことができる。

#### 【0035】

【発明の効果】以上に説明したように本発明によれば、セルの外側にセルのほぼ全体を液体に浸す容器と、容器に形成された液体の入口と、出口と、該出口と対向する位置に配置されたガイド板とを有し、ガイド板によって液体が上記セルの表面を広い範囲に渡って流れるようにしたので、セル下側を流動してきた液体が直接排水口に向かうことを避け、ガイド板に沿って、液体が容器の上側まで循環してから排水口に向かう。このため、液体が、容器内をよりよく循環することができる。それにより、被検物の温度制御がムラなく、より速く行うことができ、より高精度な干渉計測が可能となる。また、液体の排出による振動などの影響も屈折液の入っている容器に直接伝わることを避けることができ、被検物の測定に対して与える悪影響を軽減して、より高精度な干渉計測が可能となる。

【0036】また、ガイド板から上記セルまでの距離と、出口側の容器内壁までの距離と、ガイド板上端から液体水面までの距離との3つの距離をほぼ等しくすると、液体の循環による圧力損失を減少できるので、より温度ムラのない温度制御ができるようになる。

【0037】入口と対向する位置に邪魔板を設け、入口から入ってきた液体が、上記セルに直接当たらないようにすれば、容器に入ってきた液体の圧力が、屈折液の入っている容器に直接当たることを避け、温度ムラを減少し、振動による影響も排除することができる。

【0038】容器に開閉可能な監視窓を設ければ、必要となしにのみ監視窓を開けて装置の稼働状況を確認できる。また、必要のない時はゴミなどが混入しないように閉めておくことができる。セルに、セルの内外を連通する筒体を設け、該筒体が容器の外部に開口するようにすれば、ここから温度計を入れることにより、機械を稼働させながら随時、試液の温度の観測が可能となる。これ

により、機械が正しく稼働していることが確認できる。また、屈折液が所望の温度に達していることを即座に正しく目で確認することができる。

【0040】温度制御装置が稼働していないときに、この蓋を用いることにより、被検物とほぼ屈折率が等しい液体にゴミなどが混入することを防ぐことができる。これにより、より精度の高い干渉計測が可能となる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の屈折率分布を測定する装置の要部構成を示す図で、(a)は縦断面図、(b)は横断面図である。

【図2】本発明の第2実施例の要部構成を示す断面図である。

【図3】本発明の第3実施例の要部構成を示す断面図である。

【図4】本発明の第4実施例の要部構成を示す上面図である。

【図5】本発明の第5実施例の要部構成を示す断面図である。

【図6】本発明の第5実施例の要部構成を示す上面図である。

【図7】本発明の第6実施例の要部構成を示す断面図である。

【図8】本発明の第6実施例の要部構成を示す斜視図である。

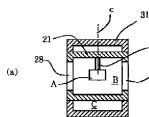
【図9】屈折率分布を測定する装置の構成を示す平面図である。

【図10】CT解析の原理を説明する図である。

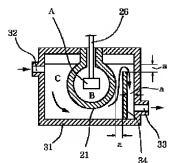
#### 【符号の説明】

- A 被検物
- B 試液
- C 液体
- a 参照波
- b 被検波
- 1 光源
- 2 1 セル
- 2 5 入射窓
- 2 7 射出窓
- 3 1 容器

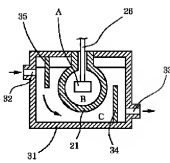
【图 1】



【图 2】

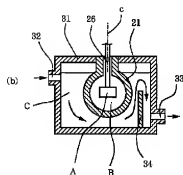


【图 3】

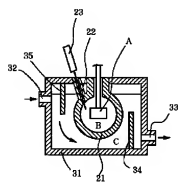


【图 6】

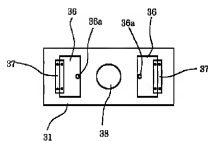
【图 5】



【图 4】

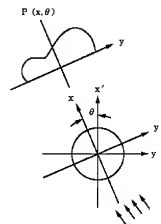
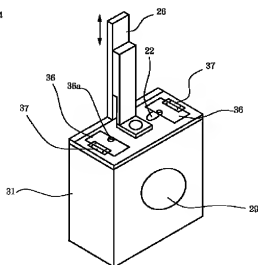
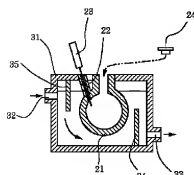


【图 10】



【图 7】

【图 8】



【图9】

